

T S1/5/1

1/5/1

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI

(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010233686 **Image available**

WPI Acc No: 1995-134943/199518

XRPX Acc No: N95-106277

Narrow band laser exposure system for semiconductor exposure - includes variable projection angle laser stepper motor varying laser light falling on etalon

Patent Assignee: TOSHIBA KK (TOKE)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 7058393	A	19950303	JP 93202276	A	19930816	199518 B
JP 3325350	B2	20020917	JP 93202276	A	19930816	200268

Priority Applications (No Type Date): JP 93202276 A 19930816

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 7058393	A	17		H01S-003/106	
JP 3325350	B2	17		H01S-003/106	Previous Publ. patent JP 7058393

Abstract (Basic): JP 7058393 A

The system includes a laser resonator in which an etalon (25) is used. The projection angle of the laser light falling on the etalon is continuously or intermittently varied by a stepper motor (27).

The narrow banded laser light given out by this arrangement performs the exposure processing.

ADVANTAGE - Good depth of focus in laser exposure system. Provides stable oscillation in narrow band.

Dwg.2/25

Title Terms: NARROW; BAND; LASER; EXPOSE; SYSTEM; SEMICONDUCTOR; EXPOSE; VARIABLE; PROJECT; ANGLE; LASER; STEP; MOTOR; VARY; LASER; LIGHT; FALL; ETALON

Derwent Class: P84; U11; V08

International Patent Class (Main): H01S-003/106

International Patent Class (Additional): G03F-007/20; H01L-021/027

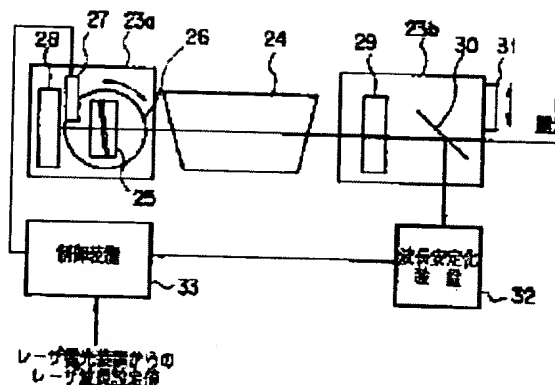
File Segment: EPI; EngPI

?

Patent number: JP7058393
Publication date: 1995-03-03
Inventor: ENAMI TOMOKO; others: 01
Applicant: TOSHIBA CORP
Classification:
- international: H01S3/106; G03F7/20; H01L21/027
- european:
Application number: JP19930202276 19930816
Priority number(s):

PURPOSE:To output a narrow-band laser light for enhancing the depth of focus in laser exposure.

CONSTITUTION:An etalon 25 is disposed in a laser resonator and the incident angle of laser light impinging on the etalon 25 is varied intermittently or continuously. In this regard, the position of the etalon 25 is adjusted stepwise by means of a step motor 27 with respect to the optical axis of the laser resonator.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-58393

(43)公開日 平成7年(1995)3月3日

(51)IntCl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/106		8934-4M		
G 0 3 F 7/20	5 0 5	9122-2H		
H 0 1 L 21/027		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 1 5 B

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 17 頁)

(21)出願番号 特願平5-202276

(22)出願日 平成5年(1993)8月16日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 榎波 智子

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株式会社東芝生産技術研究所内

(72)発明者 榎波 龍雄

神奈川県横浜市磯子区新磯子町33番地 株式会社東芝生産技術研究所内

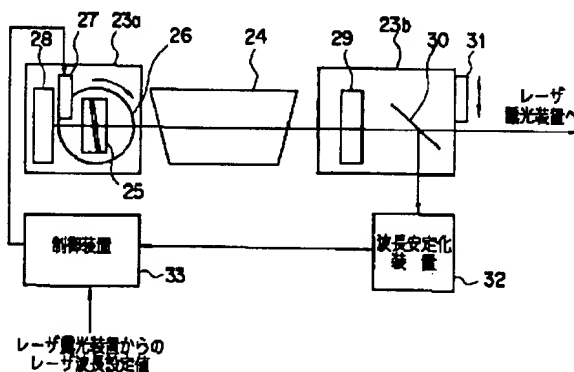
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】 狭帯域レーザ発振方法及びその装置及びこれを用いたレーザ露光装置

(57)【要約】

【目的】本発明は、レーザ露光において焦点深度を向上するための狭帯域レーザ光を出力する。

【構成】レーザ共振器内にエタロン(25)を配置し、このエタロン(25)に入射するレーザ光の入射角度を断続又は連続的に可変する。この場合、エタロン(25)のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整するものとなり、これをステッピングモータ(27)の駆動によりステップ状に可変する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ共振器内に狭帯域化素子を配置し、この狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続的に可変することを特徴とする狭帯域レーザ発振方法。

【請求項2】 レーザ共振器内に狭帯域化素子を配置し、この狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を連続的に可変することを特徴とする狭帯域レーザ発振方法。

【請求項3】 レーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、この狭帯域化素子の前記レーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して前記狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続的に可変する配置調整手段とを具備したことを特徴とする狭帯域レーザ発振装置。

【請求項4】 レーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、この狭帯域化素子の前記レーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して前記狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を連続的に可変する配置調整手段とを具備したことを特徴とする狭帯域レーザ発振装置。

【請求項5】 配置調整手段は、狭帯域化素子の配置位置をステッピングモータの駆動によりステップ状に可変することを特徴とする請求項3又は4記載の狭帯域レーザ発振装置。

【請求項6】 配置調整手段は、狭帯域化素子の配置位置をアナログモータの駆動により連続して可変することを特徴とする請求項3又は4記載の狭帯域レーザ発振装置。

【請求項7】 狭帯域レーザ発振装置から出力された狭帯域レーザ光を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写するレーザ露光装置において、

前記狭帯域レーザ発振装置におけるレーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、

この狭帯域化素子の前記レーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して前記狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続的に可変する配置調整手段と、を具備したことを特徴とするレーザ露光装置。

【請求項8】 狭帯域レーザ発振装置から出力された狭帯域レーザ光を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写するレーザ露光装置において、

前記狭帯域レーザ発振装置におけるレーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、

この狭帯域化素子の前記レーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して前記狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を連続的に可変する配置調整手段と、を具備したことを特徴とするレーザ露光装置。

【請求項9】 配置調整手段は、1回の露光に用いるレーザ発振波長を1 pmステップで断続的に可変することを特徴とする請求項5記載のレーザ露光装置。

【請求項10】 狭帯域レーザ発振装置から出力された狭帯域レーザ光を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写するレーザ露光装置において、

前記被処理体に対する露光回数に応じた前記狭帯域レーザ光に含まれる波長帯域の数及びその間隔を設定する発振設定手段と、

前記狭帯域レーザ発振装置におけるレーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、

10 前記発振設定手段により設定された波長帯域の数及びその間隔に基づいて前記狭帯域化素子の前記レーザ共振器光軸に対する配置位置を調整し、前記レーザ共振器から各波長帯域の狭帯域レーザ光を断続的に出力制御する露光制御手段と、を具備したことを特徴とするレーザ露光装置。

【請求項11】 露光制御手段は、露光回数に対する被処理体表面上の高低差を予め保持し、この被処理体表面上の高低差に対応した波長帯域の数及びその間隔を設定する機能を有することを特徴とする請求項10記載のレーザ露光装置。

【請求項12】 レーザ共振器内に少なくとも2つの狭帯域化素子を配置し、これら狭帯域化素子に入射するレーザ光の各入射角度をそれぞれ調整して少なくとも2つの波長帯域を同時に有する狭帯域レーザ光を出力することを特徴とする狭帯域レーザ発振方法。

【請求項13】 レーザ共振器内に配置された少なくとも2つの狭帯域化素子と、これら狭帯域化素子の前記レーザ共振器光軸に対する配置位置をそれぞれ調整して前記各狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を調整する発振調整手段とを具備したことを特徴とする狭帯域レーザ発振装置。

【請求項14】 狭帯域レーザ発振装置から出力された狭帯域レーザ光を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写するレーザ露光装置において、

前記狭帯域レーザ発振装置におけるレーザ共振器内に配置された少なくとも2つの狭帯域化素子と、これら狭帯域化素子の前記レーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して前記狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を可変する発振調整手段とを具備したことを特徴とするレーザ露光装置。

【請求項15】 発振調整手段は、2つの狭帯域化素子の配置位置をそれぞれ調整し、2つの波長帯域の各中心波長の間隔を5 pm以内とすることを特徴とする請求項14記載のレーザ露光装置。

【請求項16】 レーザ共振器内に配置された少なくとも2つの狭帯域化素子を通して少なくとも2つの波長帯域を有する狭帯域レーザ光を出力する狭帯域レーザ発振装置において、

50 前記狭帯域レーザ光に含まれる各波長帯域の各光量バラ

ンス変化を検出して前記各狭帯域化素子のうちバランス調整用の狭帯域化素子の前記レーザ共振器の光軸に対する配置位置を調整する光量調整手段と、

前記狭帯域レーザ光に含まれる各波長帯域のうちいずれか一方の波長が設定内であるかを検出して前記各狭帯域化素子のうち波長調整用の狭帯域化素子の前記レーザ共振器の光軸に対する配置位置を調整する波長調整手段と、

を具備したことを特徴とする狭帯域レーザ発振装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、スペクトル幅を狭帯域化して出力する狭帯域レーザ発振方法及びその装置、さらにはこの狭帯域レーザ光を用いて半導体ウエハ等の露光処理を行うレーザ露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】レーザ露光装置としては、例えばS P I E Vol.633 Optical Microlithography Vに記載されている一般的である。図22はかかるレーザ露光装置の構成図である。このレーザ露光装置は、露光光源となる狭帯域エキシマレーザ発振装置1から出力された狭帯域レーザ光2を投影露光装置3に導く構成となっている。

【0003】このうち狭帯域エキシマレーザ発振装置1は、レーザ共振器を形成する各ミラー4a、4bを有し、これらミラー4a、4b間に放電部5が形成される。又、このレーザ発振装置1には、出力安定化装置6*

$$R = \pm k_1 \cdot \lambda / N \cdot A.$$

$$DOF = \pm k_2 \cdot \lambda / N \cdot A.^2$$

ここで、 λ は狭帯域レーザ光の波長、 $N \cdot A$ は投影レンズ15の開口数、 k_1 、 k_2 は定数である。

【0009】これら式から図24に示すように、解像度Rを向上させるためには、投影レンズ15の開口数 $N \cdot A$ を増大すること、狭帯域レーザ光の短波長化が有効であることが分かる。逆に焦点深度DOFを向上させるには、この逆であることが分かる。従って、現在では、解像度Rを向上させ、さらに焦点ずれ等に対する許容度を得るための焦点深度DOFを確保することが重要となっている。

【0010】例えば、狭帯域レーザ光の波長0.248 μm において、 $N \cdot A = 0.5$ 、 $k_1 = 0.8$ 、 $k_2 = 0.7$ とすると、解像度Rとしては0.4 μm が得られるが、焦点深度DOFとしては0.7 μm 程度となる。

【0011】このように焦点深度DOFを向上させる必要の理由としては、

(1) 半導体ウエハ16を載置するX-YステージのZ方向の位置決めを精度高くすることが困難であり、又、X-Yステージの振動や半導体ウエハ16の歪みに対する許容度がなくなる。

*及び波長安定化装置7が備えられている。

【0004】一方、投影露光装置3は、入射した狭帯域レーザ光2を、反射鏡8、走査ミラー9を経て複眼レンズ(フィーズド・アレイ・レンズ)10に通し、さらに開口部11、コールドミラー12、コンデンサレンズ13を通してレチクル14に照射する。このレチクル14を通過したレーザ光は、投影レンズ(焼付レンズ)15により集光されて半導体ウエハ16に焼き付けられる。このレーザ光の照射によりレチクル14に形成されたパターンが、半導体ウエハ16に転写される。

【0005】このようなレーザ露光では、投影レンズ15の焦点距離を一定にすることが必要であるため、狭帯域レーザ光の波長も図23に示すように一定に制御している。

【0006】このレーザ光の波長の安定化は、波長安定化装置7により行うが、現在のレーザ露光装置として要求されている波長の安定度は、Proc.of 1989 Interm. Symp on. MicroProcess Conference pp 22-24に述べられているように $\pm 0.5 \text{ pm}$ 以内である。

【0007】一方、露光用の狭帯域レーザ光は、Hgランプのg線(0.436 μm)、i線(0.365 μm)、よりも短波長(KrF; 0.248 μm 、ArF; 0.193 μm)であるので、0.2~0.4 μm の微細な回路パターンに加工に適用される。

【0008】この場合、レーザ露光における解像度Rと焦点深度DOFとは、それぞれ次式により表される。

$$\dots(1)$$

$$\dots(2)$$

(2) 写真食刻工程(PEP; Photo Engraving Process)において数回の露光を行うと、半導体ウエハ16に対する積層の厚みが増加し、露光の光軸方向におけるベストな焦点位置が異なることが挙げられる。

【0012】一方、上記焦点ずれの因子としては、レンズに起因するもの、オートフォーカスの誤差、デバイスのパターンを含めた半導体ウエハ上の凹凸が挙げられる。ここで、0.35 μm デザインルール(64MD相当)を例に挙げて説明すると、レンズに起因する誤差が0.5 μm 、オートフォーカス誤差が0.1 μm 、半導体ウエハ上の凹凸が0.55 μm であり、トータルで1.15 μm 程度の誤差が存在する。従って、少なくとも1.15 μm 以上の焦点深度DOFを確保することが必要である。

【0013】これに対して現状は、0.8 μm 程度(レーザ光248.4nm、 $N \cdot A = 0.5$ 、 $k_2 = 0.8$)しか得られておらず、焦点深度DOFの向上が急務とされている。

【0014】又、半導体ウエハ上の凹凸に関しては、ウエハ自体の平坦化、レジスト厚さのばらつき、デバイスの平坦度等が挙げられる。このうちデバイスの平坦度に

関しては、デバイスの高スピード化の要求に伴い、A1の多層配線を行うことにより凹凸が増えている。図25はかかるA1の多層配線を示しており、シリコン基板17a上には、絶縁膜17bが形成され、その上にA1一層配線17cが形成されている。さらに、保護膜17dが形成され、その上にA1二層配線17eが形成されている。現在ではA1一層配線17cの段差を抑えるための工程を入れている。これらの工程も露光時の焦点深度の許容度を得るために行われている。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】以上のように解像度Rを向上させるために開口数N、A、を増大させ、逆に焦点深度DOFを向上させるに開口数N、A、を減少しなければならない状況下において、解像度Rを向上させ、さらに焦点深度DOFを確保することが要求されている。

【0016】そこで本発明は、レーザ露光において焦点深度を向上するための狭帯域レーザ光を出力できる狭帯域レーザ発振方法及びその装置を提供することを目的とする。

【0017】又、本発明は、レーザ露光において焦点深度を向上できるレーザ露光装置を提供することを目的とする。又、本発明は、被処理体上の平坦度に応じて焦点深度を変化させることができるレーザ露光装置を提供することを目的とする。

【0018】又、本発明は、レーザ露光において焦点深度を向上するために2つ以上の波長帯域を有する狭帯域レーザ光を出力するにあたって、その発振波長及び各波長帯域の光量バランスを常に安定に保つことができる狭帯域レーザ発振装置を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】請求項1によれば、レーザ共振器内に狭帯域化素子を配置し、この狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続的に可変して上記目的を達成しようとする狭帯域レーザ発振方法である。

【0020】請求項2によれば、レーザ共振器内に狭帯域化素子を配置し、この狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を連続的に可変して上記目的を達成しようとする狭帯域レーザ発振方法である。

【0021】請求項3によれば、レーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、この狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続的に可変する配置調整手段とを備えて上記目的を達成しようとする狭帯域レーザ発振装置である。

【0022】請求項4によれば、レーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、この狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を連続的に可変する配置調整手段とを備えて上記目的を達成しようとする狭帯域レーザ

発振装置である。

【0023】請求項5によれば、配置調整手段は、狭帯域化素子の配置位置をステッピングモータの駆動によりステップ状に可変するものである。請求項6によれば、配置調整手段は、狭帯域化素子の配置位置をアナログモータの駆動により連続して可変するものである。

【0024】請求項7によれば、狭帯域レーザ発振装置から出力された狭帯域レーザ光を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写するレーザ露光装置において、狭帯域レーザ発振装置におけるレーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、この狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続的に可変する配置調整手段とを備えて上記目的を達成しようとするレーザ露光装置である。

【0025】請求項8によれば、狭帯域レーザ発振装置から出力された狭帯域レーザ光を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写するレーザ露光装置において、狭帯域レーザ発振装置におけるレーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、この狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を連続的に可変する配置調整手段とを備えて上記目的を達成しようとするレーザ露光装置である。

【0026】請求項9によれば、配置調整手段は、1回の露光に用いるレーザ発振波長を1pmステップで断続的に可変するものである。請求項10によれば、狭帯域レーザ発振装置から出力された狭帯域レーザ光を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写するレーザ露光装置において、被処理体に対する露光回数に応じた狭帯域レーザ光に含まれる波長帯域の数及びその間隔を設定する発振設定手段と、狭帯域レーザ発振装置におけるレーザ共振器内に配置された狭帯域化素子と、発振設定手段により設定された波長帯域の数及びその間隔に基づいて狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整し、レーザ共振器から各波長帯域の狭帯域レーザ光を断続的に出力制御する露光制御手段とを備えて上記目的を達成しようとするレーザ露光装置である。

【0027】請求項11によれば、露光制御手段は、露光回数に対する被処理体表面上の高低差を予め保持し、この被処理体表面上の高低差に対応した波長帯域の数及びその間隔を設定する機能を有するものである。

【0028】請求項12によれば、レーザ共振器内に少なくとも2つの狭帯域化素子を配置し、これら狭帯域化素子に入射するレーザ光の各入射角度をそれぞれ調整して少なくとも2つの波長帯域を同時に有する狭帯域レーザ光を出力して上記目的を達成しようとする狭帯域レーザ発振方法である。

【0029】請求項13によれば、レーザ共振器内に配

置された少なくとも2つの狭帯域化素子と、これら狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置をそれぞれ調整して各狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を調整する発振調整手段とを備えて上記目的を達成しようとする狭帯域レーザ発振装置である。

【0030】請求項14によれば、狭帯域レーザ発振装置から出力された狭帯域レーザ光を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写するレーザ露光装置において、狭帯域レーザ発振装置におけるレーザ共振器内に配置された少なくとも2つの狭帯域化素子と、これら狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を可変する発振調整手段とを備えて上記目的を達成しようとするレーザ露光装置である。

【0031】請求項15によれば、発振調整手段は、2つの狭帯域化素子の配置位置をそれぞれ調整し、2つの波長帯域の各中心波長の間隔を5 μm 以内とするものである。

【0032】請求項16によれば、レーザ共振器内に配置された少なくとも2つの狭帯域化素子を通して少なくとも2つの波長帯域を有する狭帯域レーザ光を出力する狭帯域レーザ発振装置において、狭帯域レーザ光に含まれる各波長帯域の各光量バランス変化を検出して各狭帯域化素子のうちバランス調整用の狭帯域化素子のレーザ共振器の光軸に対する配置位置を調整する光量調整手段と、狭帯域レーザ光に含まれる各波長帯域のうちいずれか一方の波長が設定内であるかを検出して各狭帯域化素子のうち波長調整用の狭帯域化素子のレーザ共振器の光軸に対する配置位置を調整する波長調整手段とを備えて上記目的を達成しようとする狭帯域レーザ発振装置である。

【0033】

【作用】請求項1及び請求項2によれば、レーザ共振器内に狭帯域化素子を配置し、この狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続又は連続的に可変する。この場合、請求項3及び請求項4によれば、狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整するものとなり、これを請求項5によればステッピングモータの駆動によりステップ状に可変し、又は請求項6によればアナログモータの駆動により連続して可変する。

【0034】請求項7及び請求項8によれば、狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続又は連続的に可変することにより、狭帯域レーザ発振装置からそれぞれ異なる波長の狭帯域レーザ光が出力され、これが露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写する。

【0035】この場合、請求項9によれば、1回の露光に用いるレーザ発振波長を1 μm の間で断続的に可変する。請求項10によれば、狭帯域レーザ発振装置からそれぞれ異なる波長を含む狭帯域レーザ光を出力し、これ

を露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写する場合、被処理体に対する露光回数に応じた狭帯域レーザ光の波長帯域の数及びその間隔を設定し、これに基づいて狭帯域化素子のレーザ共振器の光軸に対する配置位置を調整し、レーザ共振器から各波長帯域の狭帯域レーザ光を断続的に出力制御する。

【0036】この場合、請求項11によれば、波長帯域の数及びその間隔は、予め保持されている露光回数に対する被処理体表面上の高低差から設定される。請求項12によれば、レーザ共振器内に少なくとも2つの狭帯域化素子を配置し、これら狭帯域化素子に入射するレーザ光の各入射角度をそれぞれ調整して少なくとも2つの波長帯域を有するレーザ光を出力する。

【0037】この場合、請求項13によれば、各狭帯域化素子の調整は、レーザ共振器の光軸に対する配置位置をそれぞれ調整している。請求項14によれば、狭帯域レーザ発振装置から狭帯域レーザ光を出力し、これを露光光学系に入射してレチクルに形成されたパターンを被処理体に転写する場合、レーザ共振器内に配置された少なくとも2つの狭帯域化素子のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整して狭帯域化素子に入射するレーザ光の入射角度を断続又は連続的に可変する。

【0038】この場合、請求項15によれば、2つの狭帯域化素子の配置位置をそれぞれ調整し、2つの波長帯域の各中心波長の間隔を5 μm 以内とする。請求項16によれば、レーザ共振器内に配置された少なくとも2つの狭帯域化素子を通して少なくとも2つの波長帯域を有する狭帯域レーザ光を出力する場合、狭帯域レーザ光に含まれる各波長帯域の各光量バランス変化を検出して各狭帯域化素子のうちバランス調整用の狭帯域化素子のレーザ共振器の光軸に対する配置位置を調整し、上記各波長帯域のうちいずれか一方の波長が設定内であるかを検出して各狭帯域化素子のうち波長調整用の狭帯域化素子のレーザ共振器の光軸に対する配置位置を調整する。

【0039】

【実施例】(1) 以下、本発明の第1実施例について図面を参照して説明する。なお、図19と同一部分には同一符号を付してその詳しい説明は省略する。図1は狭帯域レーザ発振装置を用いたレーザ露光装置の構成図である。露光用光源としての狭帯域エキシマレーザ発振装置20は、レーザ媒質としてKrF、ArFを用いたもので、その波長はKrFで0.248 μm 、ArFで0.193 μm である。

【0040】この狭帯域エキシマレーザ発振装置20は、レーザ本体21内に気密容器22が設けられ、この気密容器22の両端側にそれぞれレーザ共振器を形成する各ミラー23a、23bが配置されている。

【0041】気密容器22内には、レーザ媒質としてKrFエキシマレーザの場合にNe、F₂、Krの混合ガスが封入され、又、ArFエキシマレーザの場合にN

e、F₂、Arの混合ガスが封入されるものとなる。

【0042】又、気密容器22内には、レーザ媒質が放電励起される放電部24が形成される。上記レーザ共振器(各ミラー23a、23b)の具体的な構成について図2を参照して説明する。

【0043】レーザ共振器ミラー23aには、狭帯域化素子としてのエタロン25が配置されている。このエタロン25は、レーザ共振器中のレーザ光のスペクトル幅を3pmまで狭帯域化する機能を有している。

【0044】このエタロン25は、回転ステージ26上10に設けられており、この回転ステージ26はステッピングモータ27の駆動によりステップ状に回転するものとなっている。なお、28は高反射ミラーである。

【0045】このように回転ステージ26をステップ状に回転することによりエタロン25に対するレーザ共振器光軸が断続的に変化する。すなわち、エタロン25に入射するレーザ共振器中のレーザ光の入射角度が断続的に変化する。この入射角度の変化によりレーザ光の波長は、図3に示すようにステップ状に変化する。

【0046】又、ステッピングモータ27に代えてアナログ式マイクロメータ付の回転ステージを使用すると、エタロン25に入射するレーザ光の角度は連続的に変化する。レーザ光の波長は、図4に示すように連続的に変化する。

【0047】一方、レーザ共振器ミラー23bには、出力ミラー29及びビームスプリッタ30が配置され、かつシャッター31が設けられている。波長安定化装置(スペクトルモニタ)32は、ビームスプリッタ30により分岐される狭帯域レーザ光を入射し、この狭帯域レーザ光の波長をモニタして制御装置33に送る機能を有している。30

【0048】この制御装置33は、波長安定化装置32によるモニタ波長とレーザ露光装置3から送られてくるレーザ波長設定値との差を求め、この波長差を無くす駆動制御信号をステッピングモータ27に送ってフィードバック制御する機能を有している。なお、制御装置33は、モニタ波長とレーザ波長設定値とが一致したときにシャッター31を開放する機能を有している。

【0049】又、狭帯域エキシマレーザ発振装置20には、電源34、ガス供給排気装置35及びエネルギーモニタ36を備えている。次に上記の如く構成された装置の作用について説明する。

【0050】レーザ露光装置3は、1回露光における各波長の設定値及びその間隔を、狭帯域エキシマレーザ発振装置20の制御装置33に送る。これら波長の設定値は、例えば、図5(a)に示すように波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_1 < \lambda_3$)となっている。

【0051】かかる状態に、制御装置33により電源34から電力が供給されてレーザ共振器内のレーザ媒質が放電励起されると、このレーザ共振器からレーザ光が取

り出される。

【0052】このとき、波長安定化装置32は、ビームスプリッタ30により分岐される狭帯域レーザ光を入射し、この狭帯域レーザ光の波長をモニタして制御装置33に送る。

【0053】この制御装置33は、波長安定化装置32からのモニタ波長を受け、このモニタ波長とレーザ波長設定値 λ_2 との差を求め、この波長差を無くす駆動制御信号をステッピングモータ27に送る。

【0054】これによりステッピングモータ27は、駆動して回転ステージ26をステップ状に回転させ、これに伴ってエタロン25に入射するレーザ共振器中のレーザ光の角度が変化する。このようにレーザ光の入射角度が変化すると、レーザ共振器中のレーザ光の波長が変化する。

【0055】この波長変化によりモニタ波長とレーザ波長設定値 λ_2 とが一致すると、制御装置33はシャッター31をレーザ露光装置3から設定された期間だけ開放する。

【0056】かくして、狭帯域エキシマレーザ発振装置20から波長 λ_2 の狭帯域レーザ光が出力される。この狭帯域レーザ光は、反射鏡8、走査ミラー9を経て複眼レンズ10を通り、さらに開口部11、コールドミラー12、コンデンサレンズ13を通してレチクル14に照射する。このレチクル14を通過した狭帯域レーザ光は、投影レンズ15により集光されて半導体ウエハ16に照射される。

【0057】次に制御装置33は、波長安定化装置32からのモニタ波長を受け、このモニタ波長とレーザ波長設定値 λ_1 との差を求め、この波長差を無くす駆動制御信号をステッピングモータ27に送る。

【0058】これにより上記同様にステッピングモータ27の駆動により、エタロン25に入射するレーザ共振器中のレーザ光の角度が変化する。モニタ波長とレーザ波長設定値 λ_1 とが一致すると、制御装置33はシャッター31をレーザ露光装置3から設定された期間だけ開放する。

【0059】かくして、狭帯域エキシマレーザ発振装置20から波長 λ_1 の狭帯域レーザ光が出力され、この狭帯域レーザ光がレチクル14を通して半導体ウエハ16に照射される。

【0060】次に制御装置33は、上記同様にモニタ波長とレーザ波長設定値 λ_3 との差を求め、この波長差を無くすようにステッピングモータ27を駆動し、エタロン25に入射するレーザ共振器中のレーザ光の角度を変化させる。そして、モニタ波長とレーザ波長設定値 λ_3 とが一致すると、制御装置33はシャッター31をレーザ露光装置3から設定された期間だけ開放する。

【0061】かくして、狭帯域エキシマレーザ発振装置1から波長 λ_3 の狭帯域レーザ光が出力され、この狭帯

域レーザ光がレチクル14を通して半導体ウエハ16に照射される。

【0062】この結果、半導体ウエハ16に対する1回の露光が終了する。このように各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_1 < \lambda_3$)の狭帯域レーザ光を順次半導体ウエハ16に照射すると、半導体ウエハ16に対して図6に示すように各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ごとに異なった位置に焦点面が形成される。この場合、波長 λ_2 の焦点面が上面で形成され、波長 λ_1 の焦点面が中間で形成され、さらに波長 λ_3 の焦点面が下面で形成される。

【0063】従って、レチクル14に形成されたパターンが、焦点面を変えて多重に露光することになり、最終的に形成されるパターンは、光軸方向において各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の光の強度分布の合成像となる。

【0064】図7には各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の焦点位置に対する光強度分布及びその合成像の光強度分布を示すとともに従来装置での光軸方向の光強度分布が示されている。同図に示すように各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の合成像による露光の方が、従来よりも焦点深度DOFが向上することが分かる。

【0065】例えば、従来において単一波長248.4 nmのレーザ光により露光した場合の焦点深度DOFが0.8 μ mであるのに対し、本実施例において
 $\lambda_2 = 248.400 - 0.002$ nm
 $\lambda_1 = 248.4$ nm
 $\lambda_3 = 248.400 + 0.002$ nm
と設定すれば、焦点深度DOFは、1.6 μ mとなり約2倍に向上する。

【0066】このように上記第1実施例においては、レーザ共振器内にエタロン25を配置し、このエタロン25に入射するレーザ光の入射角度を、ステッピングモータ27の駆動により断続的に可変するようにしたので、1回の露光において各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の合成像による露光を行い、この露光により焦点深度DOFを向上させる狭帯域レーザ光を出力でき、かつこの狭帯域レーザ光を用いて露光処理することにより半導体ウエハ16における焦点深度DOFを向上できる。

【0067】又、各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 に変化させて焦点面を変化させるので、半導体ウエハ16を上下移動させてアライメントする必要がなく、かつスループット低下を抑えることができる。

【0068】さらに、1 μ m以下の微妙な焦点位置の変動を可能にできる。なお、上記第1実施例は、次のように種々変形してもよい。各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の出力順序は、図5(b)に示すように波長 λ_3 、 λ_1 、 λ_2 の順序としてもよく、又、同図(c)に示すように波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の順序としてもよい。このように各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の出力順序を種々変更して設定すると、その出力順序の組み合わせ総数は8通りとなり、その処理に応じて波長の出力順序を決定するようにしても

よい。

【0069】さらに、各波長は、次のように連続的又は断続的に変化させてもよい。例えば図8に示すように波長 λ_3 から連続的に長くし、波長 λ_1 を経て波長 λ_2 へと変化させてもよい。

【0070】又、図9に示すように波長 λ_1 より僅かに短い波長から波長 λ_3 に向かって連続的に変化させ、次に波長 λ_2 より僅かに短い波長から波長 λ_1 に向かって連続的に変化させ、さらに同様に波長 λ_2 に向かって連続的に変化させてもよい。

【0071】又、図10に示すように所定間隔毎(0 ~ t1、t1 ~ t2、t2 ~ t3)に波長 λ_3 から連続的に波長 λ_2 以上の波長に向かって長く変化させることを繰り返すようにしてもよい。

【0072】さらに上記第1実施例では、エタロン25に代えて回折格子、プリズム等を用いてもよい。次に上記第1実施例において、1回の露光に用いる狭帯域レーザ光の波長を、5 pmの間で断続的に変化させる場合について説明する。

【0073】ここで、各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 は、例えば

$$\lambda_3 = 253.9975 \text{ nm}$$

$$\lambda_1 = 254.000 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 254.0025 \text{ nm}$$

を用いる。この場合、波長 λ_1 の焦点面に対して、各波長 λ_2 、 λ_3 の焦点面はそれぞれ光軸方向において $\pm 0.5 \mu$ mずれた位置に形成され、焦点深度DOF約1.8 μ mが得られる。

【0074】次に上記第1実施例において、1回の露光に用いる狭帯域レーザ光の波長を、1 pmの間で断続的に変化させる場合について説明する。波長を1 pmの間で断続的に変えると、焦点面は光軸方向に0.2 μ mずれて形成され、波長を変化させる回数nに対して焦点深度DOFは、0.2 μ m向上する。例えば、1回の露光において、n=0の時の焦点深度DOFを1 μ mとすると、狭帯域レーザ光を1 pmづつ4回変化させると、焦点深度DOFは1.8 μ mとなる。

(2) 次に本発明の第2実施例について説明する。なお、図2と同一部分には同一符号を付してその詳しい説明は省略する。

【0075】図11はレーザ露光装置に適用される狭帯域レーザ発振装置の構成図である。レーザ共振器ミラー23aには、狭帯域化素子としての各エタロン40、41が配置されている。

【0076】これらエタロン40、41は、レーザ共振器中のレーザ光のスペクトル幅を狭帯域化するもので、図12に示すように第1段目のエタロン40によりレーザ共振器による得られる広帯域のレーザ光をその10分の1程度までに狭帯域化し、第2段目のエタロン41により同時に2つの波長帯域 λ_{10} 、 λ_{11} を得る機能を有し

ている。

【0077】これらエタロン40、41は、それぞれ回転ステージ42、43上に設けられている。これら回転ステージ42、43は、それぞれステッピングモータ44、45の駆動によりステップ状に回転するものとなっている。

【0078】なお、これらエタロン40、41は、その配置位置を逆にしてもよい。これら回転ステージ44、45のステップ状の回転により、各エタロン40、41は、レーザ共振器の光軸に対してその配置位置が変更するものとなっている。

【0079】又、各ステッピングモータ44、45に代えてアナログ式マイクロメータ付の回転ステージを使用すると、各エタロン40、41に入射するレーザ光の角度が連続的に変化するものとなっている。

【0080】制御装置33は、波長安定化装置32からのモニタ波長を受け、このモニタ波長と2つのレーザ波長設定値とに基づいて駆動制御信号を各ステッピングモータ44、45に送る機能を有している。

【0081】具体的には、2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} の間隔を5 pmに設定する。この場合、第2段目のエタロン41のFSRを5 pmとする。又、2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} の間隔を1 pmに設定してもよい。さらに、各波長 λ_{10} 、 λ_{11} の間隔をN (pm) ($N \geq 1$)としたとき、FSR=N (pm) ($N \geq 1$)とする。

【0082】次に上記の如く構成された狭帯域エキシマレーザ発振装置をレーザ露光装置に適用した場合について説明する。なお、レーザ露光装置は、図1に示す装置を適用している。

【0083】レーザ露光装置3は、1回露光における各波長 λ_{10} 、 λ_{11} の設定値及びその間隔(N pm)を、狭帯域エキシマレーザ発振装置の制御装置33に送る。かかる状態に、レーザ共振器内のレーザ媒質が放電励起されると、このレーザ共振器からレーザ光が取り出されると、波長安定化装置32は、ビームスプリッタ30により分岐される狭帯域レーザ光を入射し、この狭帯域レーザ光の波長をモニタして制御装置33に送る。

【0084】この制御装置33は、このモニタ波長とレーザ波長設定値 λ_{10} 、 λ_{11} とに基づいて駆動制御信号をステッピングモータ44に送る。まず、ステッピングモータ44が駆動されて第1段目のエタロン40のレーザ共振器光軸に対する配置角度が変えられる。この配置調整により、図12に示すようにレーザ共振器による得られる広帯域のレーザ光が10分の1程度までに狭帯域化される。

【0085】次にステッピングモータ45が駆動されて第2段目のエタロン41のレーザ共振器光軸に対する配置角度が変えられる。この配置調整により、2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} が得られる。

【0086】このようにして同時に2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11}

11が得られると、制御装置33はシャッター31を開放する。かくして、狭帯域エキシマレーザ発振装置から2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} を有する狭帯域レーザ光が出力される。

【0087】この狭帯域レーザ光は、上記同様に反射鏡8、走査ミラー9を経て複眼レンズ10を通り、さらに開口部11、コールドミラー12、コンデンサレンズ13を通してレチクル14に照射する。このレチクル14を通過した狭帯域レーザ光は、投影レンズ15により集光されて半導体ウエハ16に照射される。

【0088】このように2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} を含む狭帯域レーザ光を半導体ウエハ16に照射すると、半導体ウエハ16に対して図13に示すように2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} ごとに異なった位置に焦点面が形成される。この場合、波長 λ_{11} の焦点面が上面で形成され、波長 λ_{10} の焦点面が下面に形成される。

【0089】従って、レチクル14に形成されたパターンが、焦点面を変えて同時にかつ多重に露光することになり、最終的に形成されるパターンは、光軸方向において2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} の光の強度分布の合成像となる。

【0090】従って、2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} の合成像による露光の方が、従来よりも焦点深度DOFが向上することは上記の通りである。例えば、レーザ光の中心波長 $\lambda_0 = 248.400 \text{ nm}$ においてN. A. = 0.5、 $k_2 = 0.8$ とすると、従来において焦点深度DOFは $0.8 \mu\text{m}$ となるが、本第2実施例において、 $\lambda_{10} = 248.400 + 0.001 \text{ nm}$
 $\lambda_{11} = 248.400 - 0.001 \text{ nm}$ (λ_{10} と λ_{11} の間隔は2 pm)

の2つの波長帯域を用いると、焦点深度DOFは、1.2 μm まで向上する。

【0091】又、上記の如く2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} の間隔を5 pmとした場合、例えば

$$\lambda_{10} = 254.0025 \text{ nm}$$

$$\lambda_{11} = 253.9975 \text{ nm}$$

とした場合、焦点面は光軸方向において1 μm 離れた位置に形成され、焦点深度DOFは約1.8 μm が得られる。

【0092】又、2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} の間隔を1 pm以上とした場合、それぞれの焦点面は光軸方向に0.2 N (μm) 離れた位置に形成され、焦点深度DOFも0.2 N (μm) 向上する。

【0093】このように上記第2実施例においては、各エタロン40、41を用いて狭帯域レーザ発振装置から2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} を有するレーザ光を出力し、これをレーザ露光装置3に入射してレチクル14に形成されたパターンを半導体ウエハ16に転写するようにしたので、1回の露光において2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} の合成像による露光を行い、この露光により焦点深度DOFを向

上させる狭帯域レーザ光を出力でき、かつこの狭帯域レーザ光を用いて露光処理することにより半導体ウエハ16における焦点深度DOFを向上できる。従って、2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} を有するレーザ光により各焦点面を形成することになり、半導体ウエハ16を上下移動させてアライメントする必要がなく、かつスループット低下を抑えることができる。さらに、 $1\mu\text{m}$ 以下の微妙な焦点位置の変動を可能にできる。

【0094】なお、上記第2実施例に次のように種々変形してもよい。例えば、狭帯域化する波長は、上記2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} に限らずに複数の波長に狭帯域化してもよく、この場合複数のエタロンや回折格子等の狭帯域化素子を用いる。

【0095】又、2つの波長 λ_{10} 、 λ_{11} の関係は、中心波長を λ_0 とすると、

$$\lambda_{10} > \lambda_0 > \lambda_{11}$$

$$\lambda_{10} = \lambda_0 > \lambda_{11}$$

$$\lambda_{10} > \lambda_0 = \lambda_{11}$$

$$\lambda_0 > \lambda_{10} > \lambda_{11}$$

$$\lambda_{10} > \lambda_{11} > \lambda_0$$

に設定してもよい。

(3) 次に本発明の第3実施例について説明する。なお、図1と同一部分には同一符号をしてその詳しい説明は省略する。

【0096】図14はレーザ露光装置の全体構成図である。レーザ露光装置3には、露光制御装置50が備えられている。この露光制御装置50は、露光回数に対する半導体ウエハ16表面上の平坦度、つまり高低差を予め保持し、この高低差に対応した波長帯域の数及びその間隔を決定して狭帯域レーザ発振装置20の制御装置3に送る機能を有している。なお、露光時における半導体ウエハ表面上の高低差は、プロセス上周知のことである。

【0097】例えば、写真食刻工程において、第1回目の露光では半導体ウエハ16に凹凸は存在しないが、第2回目、第3回目、…の露光では半導体ウエハ16に凹凸が形成され、その高低差に応じて狭帯域レーザ光の波長帯域の数及びその間隔を決定する。

【0098】例えば、半導体ウエハ16に凹凸の高低差に応じて狭帯域レーザ光の波長設定値 λ_{20} 、 λ_{21} を決定し、さらに写真食刻工程を重ねて高低差が大きくなると、3つの波長設定値 λ_{22} 、 λ_{23} 、 λ_{24} を決定する。図15は半導体ウエハ16の凹凸高低差に対する波長の数及びその間隔の例が示されている。

【0099】又、各波長 λ_{20} 、 λ_{21} 及び λ_{22} 、 λ_{23} 、 λ_{24} を発振するタイミングは、1回の露光において、図16に示すように2つの波長 λ_{20} 、 λ_{21} の場合、同図(a)に示すように波長 λ_{20} 、 λ_{21} の順序に発振したり、又同図(b)に示すように波長 λ_{20} から λ_{21} に変え、再び波長 λ_{20} で発振するようにしてもよい。

【0100】又、3つの波長の場合、同図(c)に示すよ

うに λ_{22} 、 λ_{23} 、 λ_{24} の順序に発振したり、同図(d)に示すように λ_{24} 、 λ_{23} 、 λ_{22} の順序に発振、さらには同図(e)に示すように λ_{23} 、 λ_{22} 、 λ_{24} の順序に発振してもよい。

【0101】次に上記の如く構成された装置の作用について説明する。レーザ露光装置3の露光制御装置50は、1回目の露光に対する波長の設定値を、狭帯域エキシマレーザ発振装置20の制御装置33に送る。

【0102】かかる状態に、レーザ共振器内のレーザ媒質が放電励起されると、このレーザ共振器からレーザ光が取り出され、このときに波長安定化装置32は狭帯域レーザ光の一部を入射してその波長をモニタする。

【0103】制御装置33は、モニタされた波長を受け、このモニタ波長とレーザ波長設定値との差を求め、この波長差を無くす駆動制御信号をステッピングモータ27に送る。これによりエタロン25のレーザ共振器光軸に対する角度が変化し、これに伴ってレーザ共振器中のレーザ光の波長が変化する。

【0104】この波長変化によりモニタ波長とレーザ波長設定値とが一致すると、制御装置33はシャッター31をレーザ露光装置3から設定された期間だけ開放する。かくして、狭帯域エキシマレーザ発振装置20から波長設定値の狭帯域レーザ光が出力され、このレーザ光が反射鏡8、走査ミラー9を経て複眼レンズ10を通り、さらに開口部11、コールドミラー12、コンデンサレンズ13を通してレチクル14に照射する。このレチクル14を通過した狭帯域レーザ光は、投影レンズ15により集光されて半導体ウエハ16に照射される。

【0105】次に半導体ウエハ16に対する2回目の露光では、半導体ウエハ16の表面上の凹凸の高低差が形成されているので、この高低差に応じて、例えば2つの波長設定値 λ_{20} 、 λ_{21} 及びその間隔が決定される。

【0106】すなわち、露光制御装置50は、2回目の露光に対する2つの波長 λ_{20} 、 λ_{21} の設定値及びその間隔を、狭帯域エキシマレーザ発振装置20の制御装置33に送る。

【0107】この制御装置33は、モニタ波長とレーザ波長設定値 λ_{20} との差を求め、この波長差を無くす駆動制御信号をステッピングモータ27に送る。これによりエタロン25に入射するレーザ光の角度が変化し、レーザ共振器中のレーザ光の波長が変化する。この波長変化によりモニタ波長がレーザ波長設定値 λ_{20} と一致すると、狭帯域エキシマレーザ発振装置20からその波長 λ_{20} の狭帯域レーザ光が出力される。

【0108】しかして、この狭帯域レーザ光が、レチクル14を通過して半導体ウエハ16に照射される。続いて制御装置33は、モニタ波長がレーザ波長設定値 λ_{21} と一致するようにエタロン25に入射するレーザ光の角度を調整する。この調整によりモニタ波長がレーザ波長設定値 λ_{21} と一致すると、狭帯域エキシマレーザ発振装

置20からその波長 λ_{21} の狭帯域レーザ光が出力され、この狭帯域レーザ光が、レチクル14を通過して半導体ウエハ16に照射される。

【0109】以上により2回目の露光が終了する。これ以降、2回目、3回目、…の露光では、半導体ウエハ16の表面上の凹凸の高低差に応じて、例えば2つの波長 λ_{20} 、 λ_{21} 、又は3つの波長 λ_{22} 、 λ_{23} 、 λ_{24} の設定値及びその間隔が決定される。

【0110】このように上記第3実施例においては、半導体ウエハ16に対する露光回数に応じた狭帯域レーザ光の波長帯域の数及びその間隔を設定するようにしたので、半導体ウエハ16上の平坦度に応じて焦点深度DOFを変化させることができ、半導体ウエハ16の位置を光軸方向に数 μm 程度移動及びアライメントする必要がなくなり、スループットの低下を抑えることができる。

(4) 次に本発明の第4実施例について説明する。

【0111】図17は狭帯域レーザ共振装置の構成図である。レーザ共振器を形成する各レーザミラー60、61の間には、レーザチャンバ62が配置されている。このレーザチャンバ62内には、レーザ媒質が封入され、
又、レーザチャンバ62におけるレーザ共振器の光軸方向には、各窓65、66が形成されている。

【0112】レーザ共振器レーザミラー60とレーザチャンバ62との間には、2つのエタロン67、68が配置されている。このうち第1段目のエタロン67はレーザ共振器による得られる広帯域のレーザ光をその10分の1程度までに狭帯域化する機能を有し、第2段目のエタロン68は2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} を得る機能を有している。

【0113】これらエタロン67、68は、それぞれ回転ステージ69、70に設けられ、各エタロン駆動部71、72によりレーザ共振器光軸に対してその配置位置が変化するものとなっている。

【0114】一方、ビームスプリッタ73がレーザ光の出力光路上に配置され、狭帯域レーザ光の一部を分岐し、これをミラー74、レンズ75、モニタ用エタロン76、結像レンズ77を通してラインセンサ78に結像する光学系が形成されている。又、この光学系には、参照光源79からの参照光がミラー74を通して入射され*

$$r = (D\lambda_{30} - D\lambda_{31}) / (D\lambda_{30} + D\lambda_{31}) \quad \dots(3)$$

を用いて算出する。なお、 $D\lambda_{30}$ は波長 λ_{30} の光量、 $D\lambda_{31}$ は波長 λ_{31} の光量である。続いて制御部80は、ステップ#2においてバランス調整判断値 r_1 、 r_2 を決定する。

【0120】次に制御部80は、図21に示す波長制御流れ図に従い、ステップ#10においてラインセンサ78の出力信号を取り込み、次のステップ#11において図18(c)に示す干渉縞のピーク p_1 、 p_2 を求めてそれぞれ波長に変換する。

*ている。

【0115】制御部80は、狭帯域レーザ光を波長 λ_{30} 、 λ_{31} に制御する機能を有するもので、具体的に次の各機能を有している。狭帯域レーザ光に含まれる各波長 λ_{30} 、 λ_{31} の各光量バランス変化を検出して各エタロン67、68のうちバランス調整用のエタロン67のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整する光量調整手段、狭帯域レーザ光に含まれる各波長 λ_{30} 、 λ_{31} のうちいずれか一方の波長が設定内であるかを検出して波長調整用のエタロン68のレーザ共振器光軸に対する配置位置を調整する波長調整手段である。

【0116】次に上記の如く構成された装置における波長制御動作について説明する。各放電電極63、64間で放電が発生すると、この放電励起によりレーザ共振器レーザミラー60、61間にレーザ共振が起こる。このレーザ光は、図18(a)に示すように広帯域であり、これが第1段目のエタロン67を透過することにより同図(b)に示すよう狭帯域化され、さらに第2段目のエタロン68を透過することにより同図(c)に示すように2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} に狭帯域化される。この狭帯域化により2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} の狭帯域レーザ光が出力される。

【0117】この狭帯域レーザ光の一部はビームスプリッタ73により分岐し、これがミラー74、レンズ75、モニタ用エタロン76、結像レンズ77を通してラインセンサ78に結像する。これと共に参照光源79の参照光が、ミラー74が入射してレンズ75、モニタ用エタロン76、結像レンズ77を通してラインセンサ78に結像する。これによりラインセンサ78上には干渉縞が生じる。図19はかかる干渉縞に対応したモニタ出力波形を示している。

【0118】レーザ共振器の調整後、参照光源79の参照光を用いて校正を行い、狭帯域レーザ光の発振波長 λ_{30} 、 λ_{31} と参照光との校正用パラメータを決定し、一定時間毎に環境変化に応じた補正を行う。以下、この補正について説明する。

【0119】まず、制御部80は、図20の光量バランス算出流れ図に従い、ステップ#1において2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} 間の光量(強度)バランス r を次式

$$r = (D\lambda_{30} - D\lambda_{31}) / (D\lambda_{30} + D\lambda_{31}) \geq r_1$$

であるかを判断し、この条件を満足すれば、制御部80は、光量バランスが取れていないとして次のステップ#13で光量バランス調整用のエタロン67のエタロン駆動用パラメータを算出し、次にステップ#14においてこのパラメータに従ってエタロン駆動部71を駆動して回転ステージ69を回転させる。

【0122】この回転によりエタロン67は、レーザ共

振器光軸に対して配置位置が変化し、エタロン67へのレーザ光の入射角度が変化する。このエタロン67の配置位置調整により2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} の光量バランスが調整される。

【0123】次に制御部80は、ステップ#15において2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} のうち一方の波長、例えば波長 λ_{30} が設定内にあるかを判断する。すなわち、

$$|\lambda_{30} - \lambda| \geq \varepsilon$$

を判断する。なお、他方の波長 λ_{31} については、レーザ共振器内のエタロン67、68の特性により決定されるので、制御のために確認の必要はない。

【0124】この判断の結果、上記条件を満足すれば、制御部80は、波長 λ_{30} が設定外であるとして次のステップ#16で波長調整用のエタロン68のエタロン駆動用パラメータを算出し、次にステップ#17においてこのパラメータに従ってエタロン駆動部72を駆動して回転ステージ70を回転させる。

【0125】この回転によりエタロン68は、レーザ共振器光軸に対して配置位置が変化し、エタロン68へのレーザ光の入射角度が変化する。このエタロン68の配置位置調整により2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} の波長が設定内に入る。

【0126】次に制御部80は、再び光量バランスの調整を行なう。すなわち、制御部80は、ステップ#18において

$$(D\lambda_{30} - D\lambda_{31}) / (D\lambda_{30} + D\lambda_{31}) \geq r_2$$

であるかを判断し、この条件を満足すれば、光量バランスが取れていないとして次のステップ#19で光量バランス調整用のエタロン67のエタロン駆動用パラメータを算出し、次にステップ#20においてこのパラメータに従ってエタロン駆動部71を駆動して回転ステージ69を回転させる。

【0127】なお、大幅な光量バランスのくずれがある場合、光量バランス調整の前に波長の調整を行なうと、図19に示すように2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} の干渉縞データが得られなくなる可能性がある。

【0128】このように上記第4実施例においては、狭帯域レーザ光の2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} の各光量バランス変化を検出して調整し、次に一方の波長 λ_{30} が設定内であるかを検出して波長調整するようにしたので、2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} を有する狭帯域レーザ光の波長を精度高く安定に保持し制御できる。

【0129】従って、このように安定に制御された2つの波長 λ_{30} 、 λ_{31} を有する狭帯域レーザ光をレーザ露光装置に適用すれば、被処理体としての例えば半導体ウエハにおける焦点深度を向上させることができ、実用性が高い。

【0130】なお、上記第4実施例は次のように変形してもよい。例えば、エタロンを複数配置して複数の波長を含む狭帯域レーザ光を出力する装置の波長制御にも適

用できる。

【0131】

【発明の効果】以上詳記したように本発明によれば、レーザ露光において焦点深度を向上するための狭帯域レーザ光を出力できる狭帯域レーザ発振方法及びその装置を提供できる。

【0132】又、本発明によれば、レーザ露光において焦点深度を向上できるレーザ露光装置を提供できる。

又、本発明によれば、被処理体上の平坦度に応じて焦点深度を変化させることができるレーザ露光装置を提供できる。

【0133】又、本発明によれば、レーザ露光において焦点深度を向上するために2つ以上の波長帯域を有する狭帯域レーザ光を出力するにあたって、その発振波長及び光量バランスを常に安定に保つことができる狭帯域レーザ発振装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係わるレーザ露光装置の第1実施例を示す構成図。

【図2】同装置に適用される狭帯域レーザ発振装置の構成図。

【図3】エタロンの配置位置をステップ状に変化したときの波長シフト量を示す図。

【図4】エタロンの配置位置を連続的に変化したときの波長シフト量を示す図。

【図5】1回の露光における狭帯域レーザ光の波長変化を示す図。

【図6】半導体ウエハ上における狭帯域レーザ光の各波長の焦点面位置を示す図。

【図7】各波長の焦点深度を示す図。

【図8】狭帯域レーザ光の連続的な波長変化の一例を示す図。

【図9】狭帯域レーザ光の連続的な波長変化の一例を示す図。

【図10】狭帯域レーザ光の連続的な波長変化の一例を示す図。

【図11】本発明に係わるレーザ露光装置の第2実施例に適用される狭帯域レーザ発振装置の構成図。

【図12】同装置の発振波長を示す図。

【図13】半導体ウエハ上における狭帯域レーザ光の各波長の焦点面位置を示す図。

【図14】本発明に係わるレーザ露光装置の第3実施例を示す構成図。

【図15】半導体ウエハ表面の高低差に応じた波長の数及びその間隔を示す図。

【図16】1回の露光における狭帯域レーザ光の波長変化を示す図。

【図17】本発明に係わる狭帯域レーザ発振装置の第4実施例を示す構成図。

【図18】同装置の発振波長を示す図。

【図19】同装置で波長調整を先に行なった場合の例を示す図。

【図20】光量バランス調整判断値を求める流れ図。

【図21】波長制御動作の流れ図。

【図22】従来装置の構成図。

【図23】同装置の発振波長を示す図。

【図24】解像度と焦点深度との関係を示す図。

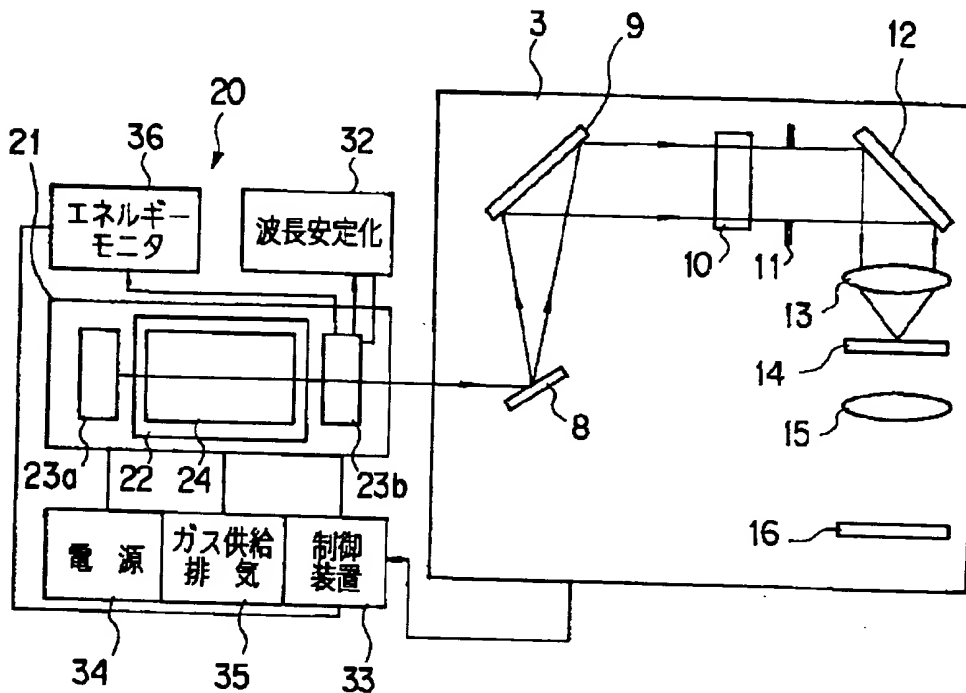
【図25】半導体ウエハにおける多層配線を示す図。

【符号の説明】

3…投影露光装置、8…反射鏡、9…走査ミラー、10…複眼レンズ、12…コールドミラー、13…コンデン

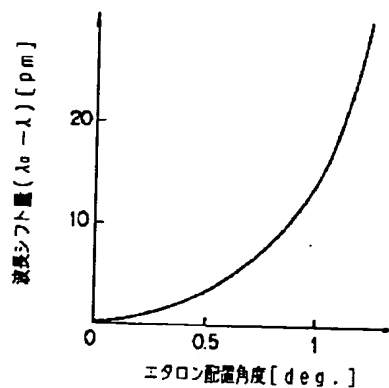
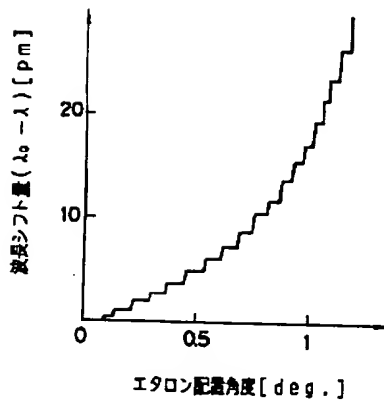
サレンズ、14…レチクル、15…投影レンズ、16…半導体ウエハ、20…狭帯域エキシマレーザ発振装置、23a、23b…レーザ共振器ミラー、25…エタロン、26…回転ステージ、27…ステッピングモータ、32…波長安定化装置、33…制御装置、40、41…エタロン、42、43…回転ステージ、44、45…ステッピングモータ、50…露光制御装置、60、61…レーザミラー、67、68…エタロン、69、70…回転ステージ、71、72…エタロン駆動部、78…ラインセンサ、79…参照光源、80…制御部。

【図1】

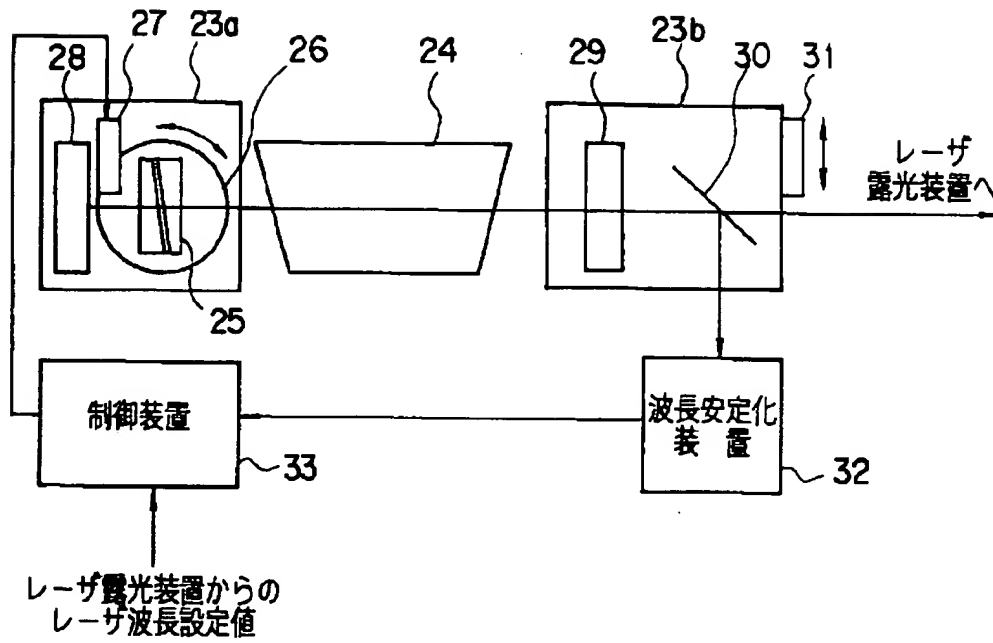


【図3】

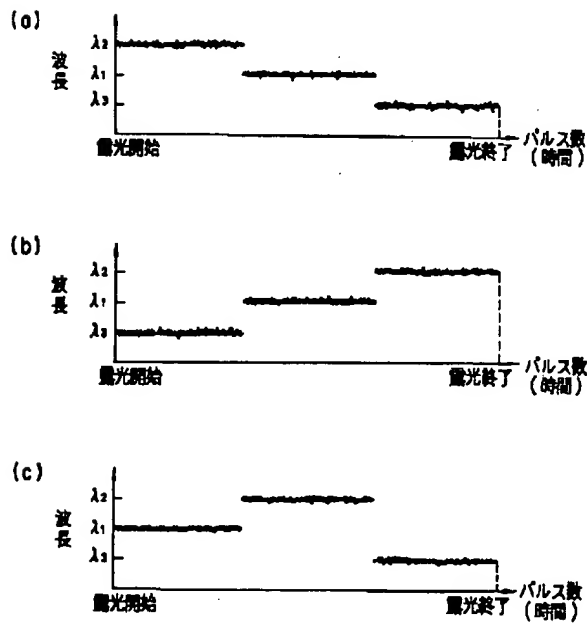
【図4】



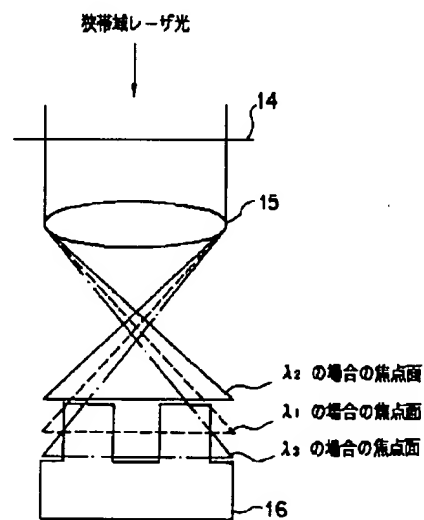
【図2】



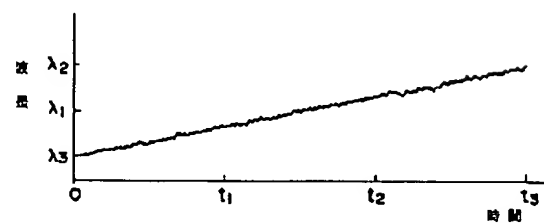
【図5】



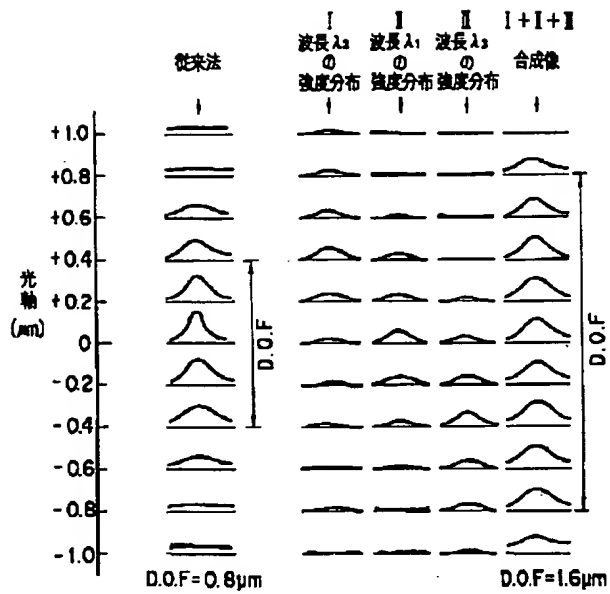
【図6】



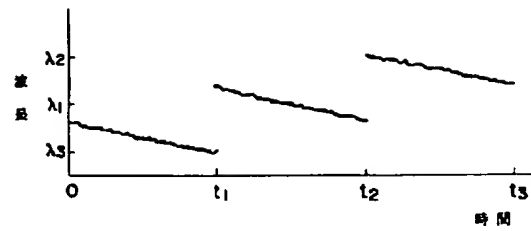
【図8】



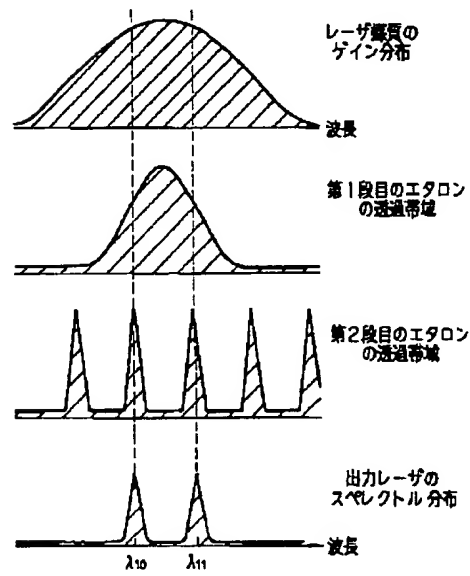
【図7】



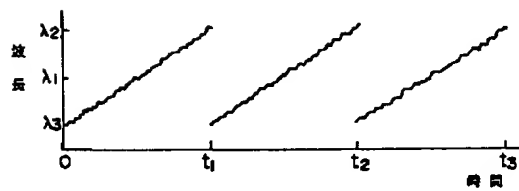
【図9】



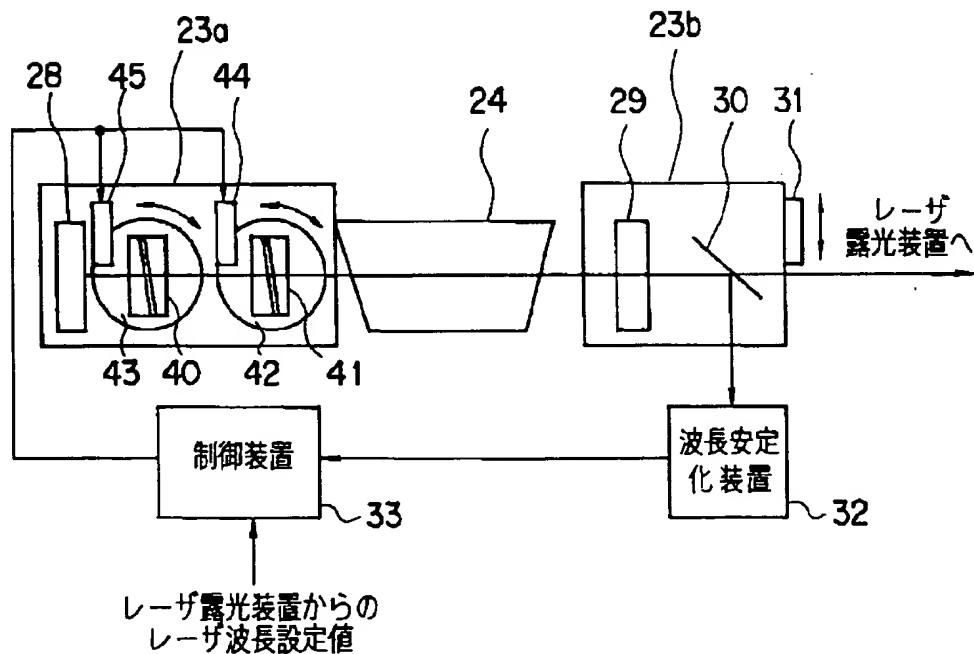
【図12】



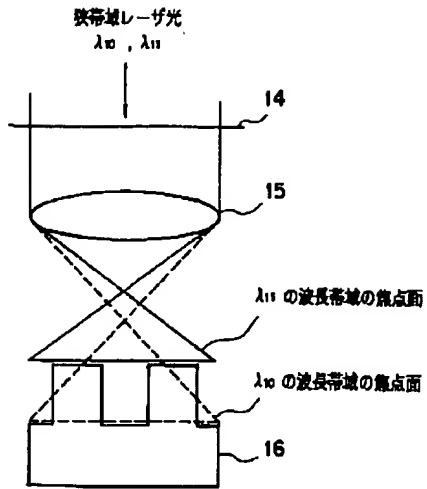
【図10】



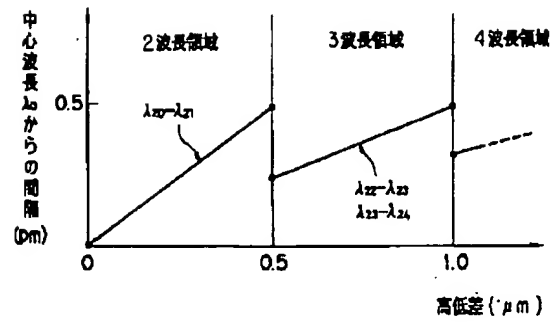
【図11】



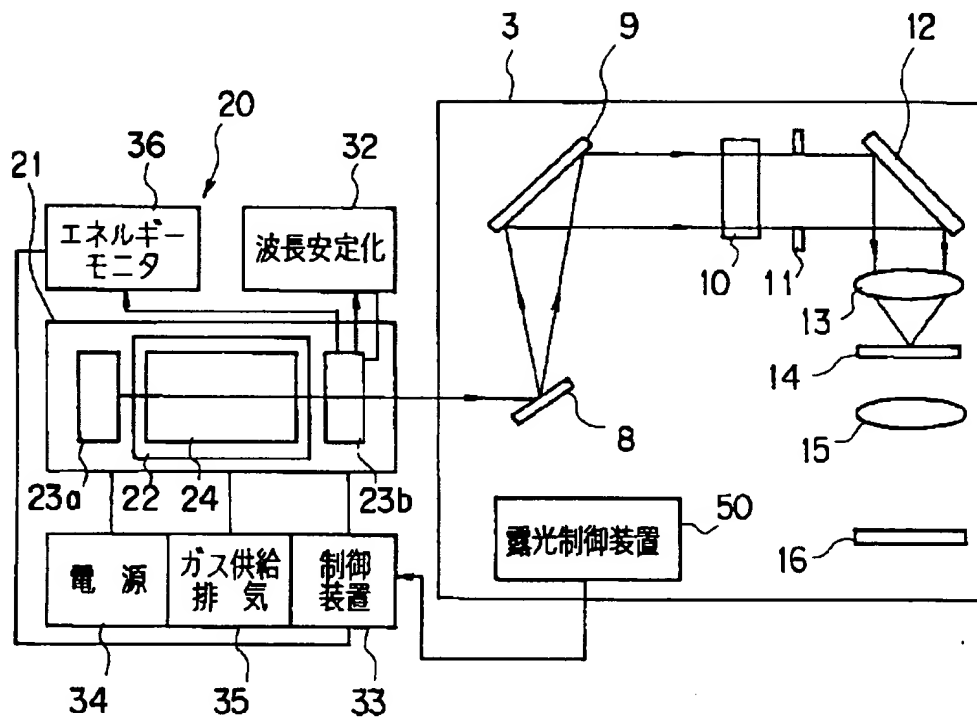
【図13】



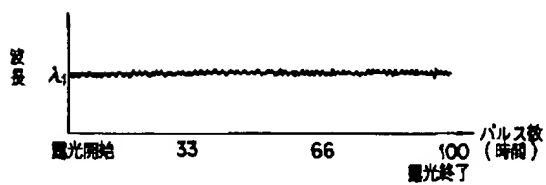
【図15】



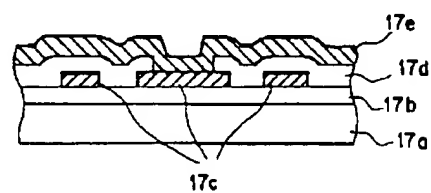
【図14】



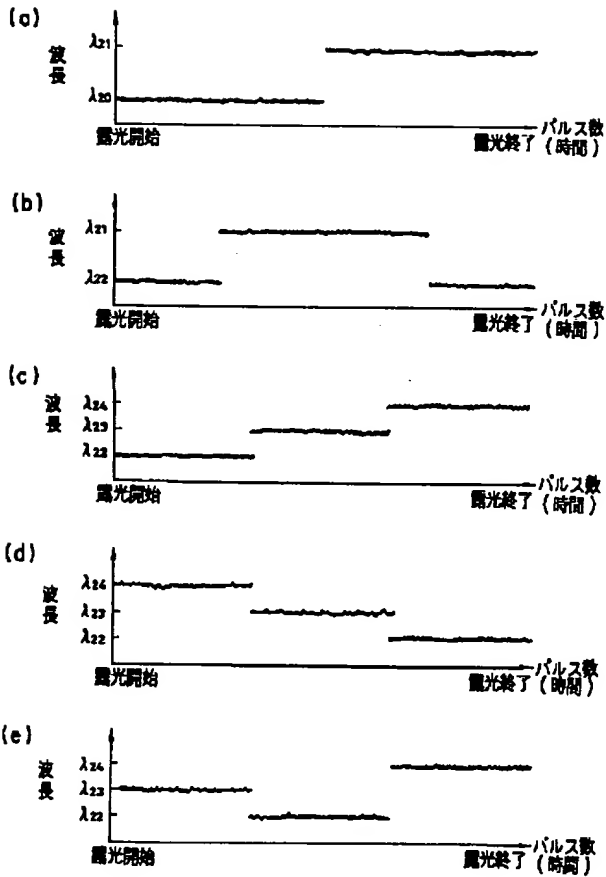
【図23】



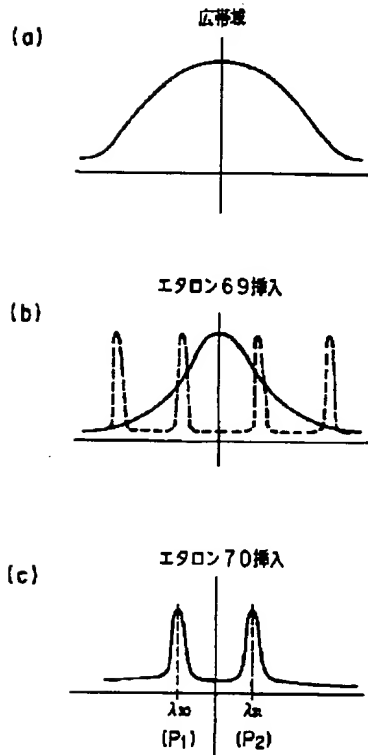
【図25】



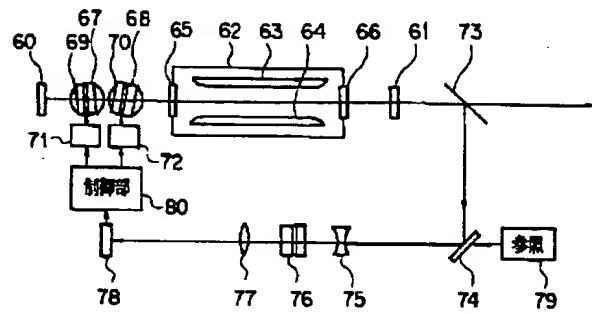
【図16】



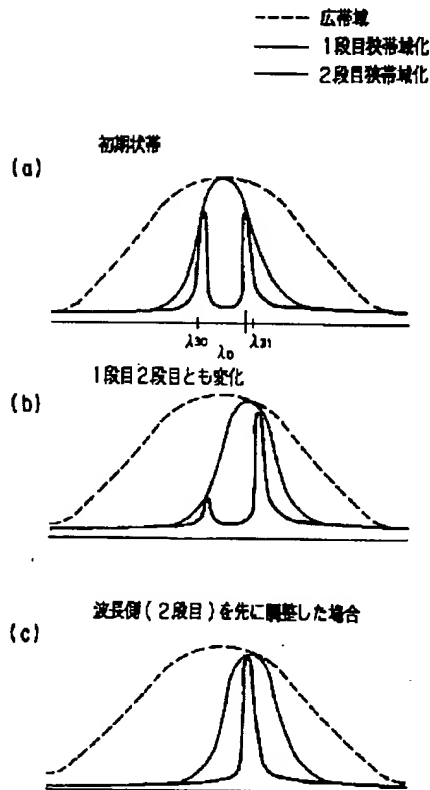
【図18】



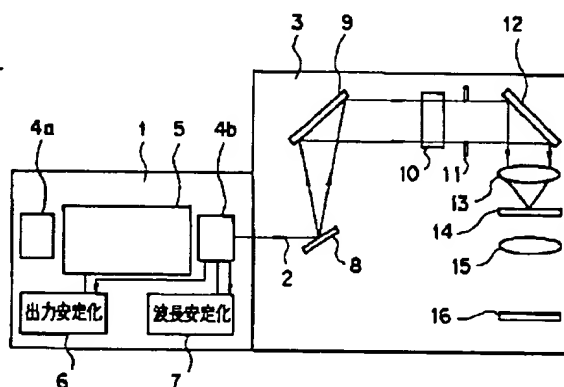
【図17】



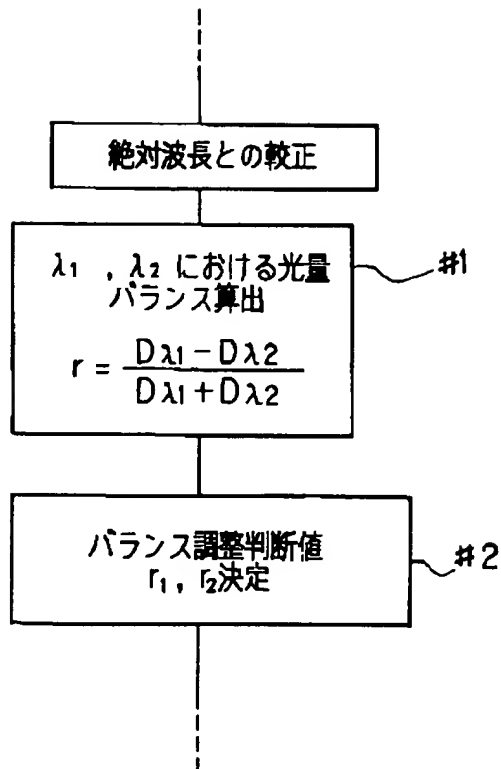
【図19】



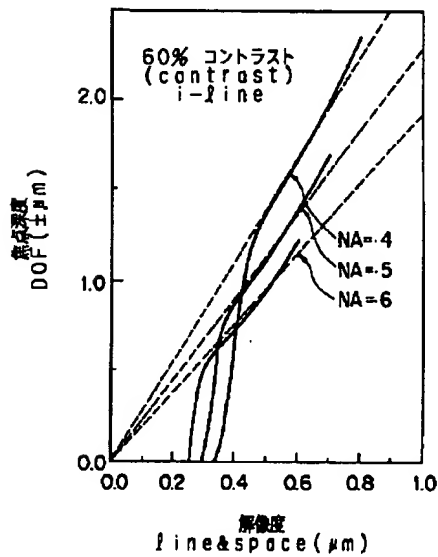
【図22】



【図20】



【図24】



【図21】

